

Исследовалась зависимость решений системы (17) от параметра расстройки S . В соответствии с формой решения (16) строились значения амплитуды при варьировании параметра расстройки. Результаты исследования представлены на амплитудно-частотной характеристике (рис. 2).

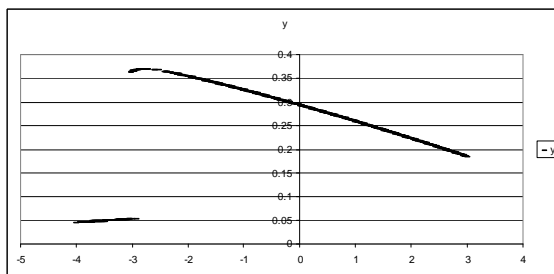


Рис. 2. Зависимость амплитуды обобщенной координаты y от параметра расстройки

Заключение. Численные исследования показали, что угловые обобщенные координаты системы совершают колебания в одночастотном режиме, а не в трехчастотном, как можно было ожидать по виду решения (8). Был произведен анализ устойчивости периодических движений по критерию Лагранжа. В левой полуплоскости существуют области, в которых наблюдаются два устойчивых режима движения. Таким образом, при малой диссипации и при удалении частоты возбуждения от резонанса может существовать несколько возможных установившихся режимов колебаний. Их реализация зависит от начальных условий.

Было проведено сравнение асимптотических решений с результатами их численного интегрирования. Параметры выбирались следующими: $c_2 = \frac{0.1Am}{E^2T}$; $S = 0.1$. Результаты сравнения показали, что в рассматриваемом примере максимальное отклонение аналитического решения от результатов численного моделирования является величиной порядка 10^{-3} , что соответствует теории метода многих масштабов.

Список литературы: 1. Филиппов А.П. Колебания механических систем. – К.: Наукова думка. – 1965. – 716 с. 2. Найфэ А. Введение в методы возмущений: Пер. с англ. – М.: Мир. – 1984. – 535 с. 3. Гробов В. А. Асимптотические методы расчета изгибных колебаний валов турбомашин. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 166 с

Поступила в редакцию 17.08.09.

УДК 621.01: 539.3

А.Д. ЧЕПУРНОЙ, докт. техн. наук, гл. инженер ОАО „Азовмаш”, г. Мариуполь,
Г.П. ГЛИНИН, зам. ген. директора ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, зав. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”

БАЗОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ГИБРИДНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКООТВЕТСТВЕННЫХ МАШИН

У статті наведені основні результати експериментального дослідження статичних і динамічних міцнісних характеристик напівпричепа-цистерни. Вони є базовими для створення гібридних розрахункових моделей досліджуваного класу машин (на прикладі паливозаправників).

In the paper the basic results of experimental research of static and dynamic strength descriptions of cistern's semitrailer are presented. They are base for creation of hybrid computational models of the probed class of machines (on the example of fuellers).

Введение. В процессе проектирования высокоответственных машин требуется расчет их основных параметров при отсутствии полной и достоверной информации о величине нагрузок, действующих в процессе будущей эксплуатации на создаваемую машину. В связи с этим актуальной и важной задачей является расчетное или экспериментальное вычисление комплекса эксплуатационных нагрузок. Для решения данной проблемы в работе [1] был предложен новый подход, сочетающий расчетно-экспериментальные исследования машин-аналогов и вновь проектируемых машин. В частности, комплекс экспериментальных исследований машин-аналогов является основой при создании так называемых „гибридных” расчетных моделей вновь проектируемых машин. В данной статье приведены результаты этих базовых экспериментальных исследований на примере топливозаправщика АТЗ-40 конструкции и производства ОАО „Азовмаш”.

В связи с тем, что автотопливозаправщик представляет собой сложную транспортно-технологическую машину, смонтированную на базе серийного шасси, то основное внимание уделено оригинальному элементу машины – автоцистерне. Именно этот элемент является определяющим для кинематики и динамики автопоезда в целом, а также для расчета эксплуатационных нагрузок и прочности машины в целом и автоцистерны в частности.

1. Объект экспериментальных испытаний. Автотопливозаправщик АТЗ-35(40)-6443 относится к среднему типу АТЗ по ГОСТ 235246-87, изготовлен в ОАО „Азовмаш” в соответствии с 9010.00.000 ТУ и комплектом технической документации 9010.00.000 и представляет собой автопоезд, состоящий из полуприцепа (цистерна на двухосном шасси), тягача КрАЗ-6443 и предназначен для выполнения следующих операций [2-4]: наполнение цистерны топливом собственным или сторонним насосом (нижним или верхним наливом); за-

правки летательных аппаратов из своей цистерны или стороннего резервуара открытым или закрытым способом; откачивание топлива из раздаточных рукавов; транспортирование топлива на летном поле аэродрома; слив топлива из баков летательных аппаратов и т.д.



Рис. 1. Автотопливозаправщик АТЗ-35(40)- 6443

Основные механические характеристики АТЗ-35(40) (рис. 1): эксплуатационная вместимость – 35–40 м³; количество раздаточных магистралей – 2; расход топлива через раздаточные рукава ДУ-76 длиной 20 м при закрытой заправке и проти-

водавлении за наконечниками ТН-4, равном 0,2 МПа: через одну магистраль – не менее 1500 л/мин; через две магистрали – не менее 3000 л/мин; расход топлива через раздаточные магистрали открытым способом: через одну магистраль – не менее 600 л/мин; через две магистрали – не менее 1200 л/мин. Пропускная способность исполнительного устройства при нижнем наливе и горловины верхнего налива – не менее 3000 л/мин. Предельно допустимое давление топлива на выходе из раздельных рукавов – 0,45 МПа. Давление в цистерне при выполнении рабочих операций: от 0,0125 МПа до 0,032 МПа. Габаритные размеры АТЗ: длина – 18000 мм; высота – 3350 мм; ширина – 3150. Максимальная скорость движения с полной загрузкой – 50 км/час.

Цистерна автотопливозаправщика изготовлена из нержавеющей стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 1350-77 со следующими механическими характеристиками: $\sigma_T = 240$ МПа; $\sigma_B = 540$ МПа; $[\sigma]_p = 160$ МПа. Допускаемые напряжения при статических нагружениях (налив + давление) $[\sigma]_{исп} = 0,9\sigma_T = 216$ МПа.

2. Общие условия экспериментальных испытаний. В соответствии с разработанной программой и методикой испытаний [4] проводились испытания опытного образца автотопливозаправщика АТЗ-35(40)-6443, разработанного и изготовленного по чертежам 9010.00.000.

Испытания включали в себя следующие этапы:

- прочностные статические и динамические испытания;
- тормозные испытания 2-х опытных автотопливозаправщиков АТЗ-35(40) №1 и №2;
- гидродинамические испытания.

Топливозаправщики перед испытаниями прошли техническое обслуживание в соответствии с инструкцией по эксплуатации и обкатку путем пробега на расстояние 1000 км.

Статические тензометрические, а также гидродинамические испытания проводились на территории цеха № 28 ОАО „Азовмаш“, при этом заполнение цистерны продуктом и другие операции проводились на стендах цеха.

Динамические пробеговые испытания АТЗ-35(40) проводились на автодороге шоссе „Мариуполь-Володарское“, тормозные испытания проводились

на асфальтобетонном покрытии на территории ОАО „Азовмаш“.

3. Цель и задачи испытаний. Целью испытания являлось определение прочностных и эксплуатационных характеристик агрегата АТЗ-35(40), а также соответствия их техническому заданию, требованиям технической документации. Задача *прочностных испытаний* – исследование и оценка напряженно-деформированного состояния конструкций автотопливозаправщика при воздействии статических и динамических нагрузок. Задачей *тормозных испытаний* являлось исследование тормозных свойств автотопливозаправщика. Задачей *гидродинамических испытаний* являлось определение гидродинамических давлений в системе заправки топлива. Весь комплекс экспериментальных исследований и их результатов является составным элементом при формировании гибридных расчетно-экспериментальных моделей целого класса подобных машин, а именно при определении эксплуатационных нагрузок.

4. Объем и условия проведения испытаний. Испытания по определению статических деформаций конструкции автотопливозаправщика производились при создании следующих видов нагрузок: ступенчатом заполнении цистерны топливом через 10 м³ до объема 40 м³; создании внутреннего избыточного давления в заполненной до объема 40 м³ цистерне, равного $P_{раб} = 0,025$ МПа и $P_{исп} = 0,05$ МПа; создании внешнего избыточного давления величиной $P_1 = 0,01$ МПа и $P_2 = 0,0125$ МПа; опирании полуприцепа на гидроопоры; создании кососимметричной нагрузки на загруженный автотопливозаправщик.

Испытания по определению динамических деформаций автотопливозаправщика с заполненной цистерной до объема 40 м³ и 25 м³ проводились при движении со скоростью 30 и 50 км/час и торможением; при движении с поворотами влево и вправо на максимально возможной скорости, а также при движении по грунтовым дорогам со скоростью 20–25 км/час и торможением. Тормозные испытания типа „0“ проводились в объеме программы испытаний рабочего тормоза автопоезда в холодном состоянии. Определение тормозного пути, времени срабатывания привода тормоза и установившееся замедление выполнялись со скорости движения 30 и 50 км/час заполненного до объема 40 м³ топливозаправщика.

Испытания по определению величин гидродинамических давлений в системе заправки топливом производились при заполнении цистерны с заглубленного резервуара и производительности заправки топлива 1200 л/мин; при выдаче топлива из цистерны при закрытой заправке через один и два рукава с наконечниками ТН-4 при сочетаниях величин частот вращения вала двигателя 1800, 2400 и 2800 об/мин и противодавлениях 0,2; 0,3 и 0,45 МПа, а также при выдаче топлива из цистерны во время открытой заправки через один и два раздаточных пистолета РП-401, давление на входе в раздаточный рукав 0,4 МПа на 1...3 положениях рычагов.

Статические тензометрические испытания проводились в крытом помещении цеха №28 ОАО „Азовмаш“ в июне месяце, при температуре окружающей среды 27...30°C. Динамические прочностные испытания автотопливозаправщика проводились на автошоссе „Мариуполь-Володарское“ при

температуре окружающей среды 30°C. Тормозные испытания проводились на асфальтобетонном покрытии автодороги на территории ОАО „Азовмаш” при температуре окружающей среды 25 °С. Гидродинамические испытания проводились на территории цеха № 28 при температуре окружающей среды 5°C.

5. Методика экспериментальных исследований. Исследование напряженно-деформированного состояния автотопливозаправщика выполнялось методом электротензометрии с использованием тензорезисторов типа КФ-5 [5], которые были установлены в следующих зонах цистерны (см. схему установки тензорезисторов, рис. 2-3): в шести сечениях по шпангоутам, перегородкам и стрингерам внутри цистерны (тензорезисторы №№ 0...60); в девяти сечениях по наружной поверхности цистерны (сечения I-I... VI –VI, I'-I', III-III, тензорезисторы №№ 13...16, 133...146, 155...184); на переднем и заднем днищах (тензорезисторы №№ 1...12 и 185...203); верхних и нижних люках (тензорезисторы №№ 117...132 и 147...154); зоне сочленения двух секций цистерны (тензорезисторы №204...223); зоне передней и задней опор (тензорезисторы № 221...249 и 271...281).

Наклейка тензорезисторов осуществлялась клеем „диакрин” при температуре +27°C. Предварительно поверхность под наклейку была очищена от грязи и обезжирена ацетоном. После естественной полимеризации клея в течение 24-х часов тензорезисторы покрывались лаком „ХВ” от воздействия влаги и просушивались при 25°C в течение 12 часов.

Проверка качества наклейки тензорезисторов включала в себя: визуальный осмотр и выявление смещений решетки тензорезисторов, неплотностей прилегания; проверку целостности решетки тензорезистора путем измерения

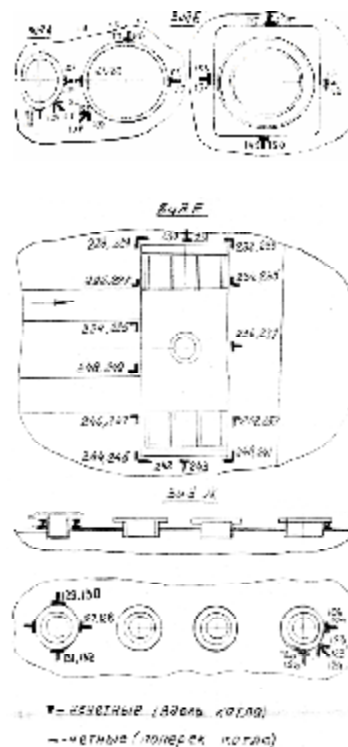
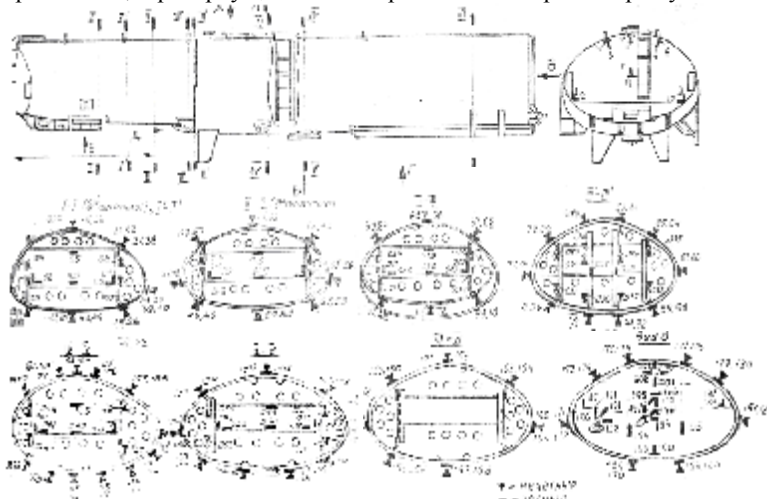
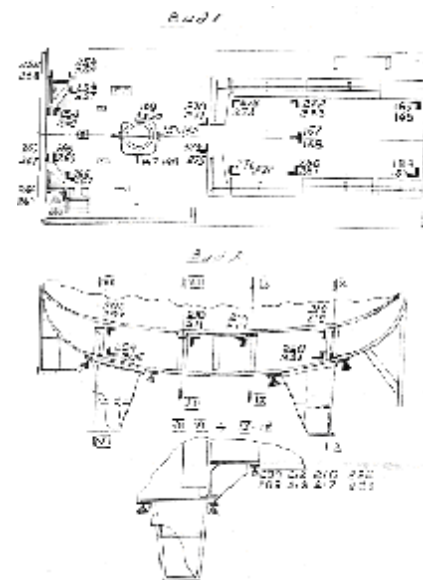


Рис. 2. Установка тензорезисторов на цистерне (статические прочностные испытания)



сопротивления его с помощью цифрового омметра Щ-34; измерение сопротивления изоляции между решеткой тензорезистора и корпусом цистерны, которое находилось в пределах 20-100 МОм; выявление пузырьков воздуха под решеткой тензорезистора путем нажатия на основу тензорезистора и измерения его сопротивления.

Измерение статических деформаций осуществлялось по групповой схеме включения тензорезисторов, при этом в одно плечо измерительного моста включается компенсационный тензорезистор, а во второе плечо автоматически подключается группа активных. В качестве измерительно-регистрирующего прибора использована система СИИТ-3 с записью цифровых данных на магнитную ленту. Обработка результатов измерений производилась по разработанной программе с помощью компьютера „Электроника Б-02”.

Динамические деформации измерялись по мостовой схеме, при этом в плечи полумоста включался один активный и один компенсационный тензорезисторы. В качестве усилителя сигналов использовался усилитель тензометрический ТУП-12. Регистрация величин динамической деформации производилась на осциллографную фотобумагу магнито-электрического шлей-

фового осциллографа К-20-22.

Измерения ускорении (замедлений) и регистрация их в процессе динамических и тормозных испытаний производились с помощью датчиков ускорений Ду-5с, работающих в комплекте с виброизмерительной аппаратурой ВИБ-6ТН и осциллографа К-20-22. Датчики устанавливались в 2-х плоскостях – вертикальной (нечетные номера) и горизонтальной (четные номера) в следующих зонах: на раме тягача (датчики Ду – №№ 1,2); на полуприцепе в области седельно-прицепного устройства (датчики № 3-4); на заднем днище полуприцепа цистерны (Ду № 5...6).

Подготовка к статическим и динамическим измерениям включала в себя: отбор, калибровку и группировку тензорезисторов; отбор аппаратуры по диапазону измеряемых величин и чувствительности; тарировку измерительных трактов; установка тензорезисторов на конструкции топливозаправщика; монтаж измерительных схем; подключение, заземление, прогрев, настройка аппаратуры; пробная запись во время опрессовки цистерны путем налива топлива в объеме 40 м³; подбор масштаба записи параметров и положение нулевых линий на осциллографе.

Подготовка виброизмерительной аппаратуры к работе заключалась в проверке на функционирование и тарировке. Тарировка сводилась к нахождению коэффициентов чувствительности измерительного тракта при повороте датчика, установленного на специальном тарировочном устройстве, на 90° от своего горизонтального положения равновесия, что соответствует ускорению 9,8 мс⁻².

Определение скорости движения и тормозного пути производилось с помощью специального мерительного устройства „пятое колесо“, прикрепляемого во время тормозных испытаний к полуприцепу топливозаправщика и оснащенного электрическим преобразователем пути и скорости. Сигнал с «пятого колеса» регистрировался на фотобумаге осциллографа К-20-22.

Тарировка устройства измерения скорости „пятого колеса“ производилась на стенде с заранее известными скоростями вращающихся деталей.

Проведение контрольных торможений выполнялось следующим образом: разгоняли автопоезд до скорости, на 3-5 км/час больше необходимой скорости; отсоединяли двигатель от трансмиссии путем установки в нейтральное положение коробки передач; при продолжении движения накатом до заданной скорости затормаживают автопоезд путем нажатия на тормозную педаль с усилием 700 Н. При испытаниях „0“ было выполнено не менее 2-х торможений в каждом направлении движения на каждой скорости.

Измерение температуры в тормозных колодках автотопливаправщика производилось с помощью датчиков температуры ИС-545 образцовым измерительным мостом МО-62 по сопротивлению датчика температуры, устанавливаемого на тормозных колодках и пересчетным таблицам, прилагаемым к паспорту датчика.

При гидравлических испытаниях давление в гидросистеме топливозаправщика измерялось с помощью датчиков давления мембранного типа ДДМ-15 и ДДМ-25, соединенных по безусилительной схеме с регистриру-

ющим осциллографом К-20-22. Регистрация гидродинамических давлений на фотобумагу осциллографа производилась в момент прекращения подачи топлива путем закрытия задвижек стенда, срабатывания клапанов и включения раздаточных пистолетов. Датчики давления устанавливались: на заборном трубопроводе между приемочными штуцерами ШП1 и ШП2 и клапаном К3 (датчик ДД №1); на трубопроводе между насосом Н заправщика и клапанами К1 и К2 выдающих магистралей (датчики ДД №2, ДД №3); на выходе из раздаточных магистралей между наконечниками топливных модулей ТН-1 и ТН-2 и приемным резервуаром стенда (датчики ДД №4, ДД №5).

6. Результаты экспериментальных исследований. Статические испытания. От воздействия статической вертикальной нагрузки, создаваемой путем заполнения цистерны 40 м³ топлива, в конструкции заправщика зарегистрированы следующие значения наибольших величин главных напряжений, сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные главные напряжения в сечениях автотопливаправщика (МПа) от воздействия статической вертикальной нагрузки

Зона	Точки	Напряжение	Зона	Точки	Напряжение
переднее днище	5, 6	-10	вид Б, нижний люк	147, 148	35
сечение I-I	010	71	сечение VI-VI	167, 168	-11
сечение I'-I'	41, 42	-43	вид В, обечайка котла	181, 182	10
сечение II-II	59,60	16	вид В, заднее днище	189, 190	-16
сечение III-III	0, 29	12	вид Д, зона сочленения	216, 217	32
сечение III'-III'	0, 37	35	вид Е, передняя опора	238, 239	-45
сечение IV-IV	0, 50	20	вид Г, зона гидроопор	258, 259	24
вид А, Ж, люк, патрубки	117, 118	-13	вид Г, задняя опора котла	278, 279	-19

При создании внутреннего избыточного давления в заполненной топливом цистерне, равного 0,025 и 0,05 МПа, зарегистрированы наибольшие величины напряжений (МПа) в исследуемых элементах и зонах, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Наибольшие напряжения от внутреннего избыточного давления в цистерне, МПа

Зона	Точки	Δр, МПа		Зона	Точки	Δр, МПа	
		0,025	0,05			0,025	0,05
переднее днище	5, 6	-86	-160	вид В, обечайка котла	175, 176	20	32
сечение I-I	26, 27	-41	-45				
сечение I'-I'	41, 42	-42	-40	вид В, заднее днище	196, 197, 197	52	128
сечение I'-I'	29, 30	-27	-45		198, 199, 199	70	98
сечение II-II	020	-40	-85				
сечение III-III	029	26	40				
сечение III'-III'	037	63	90	вид Д, зона сочленения	216, 217	46	56
сечение IV-IV	050	82	-144	вид Е, передняя опора	212, 213	44	56
сечение V-V	051	68	118		228, 229	10	59
сечение VI-VI	167, 168	20	-31	вид Г,	238, 239	-41	-49
вид А, Ж, люк, пат-	117, 118	18	36		258, 259	75	116

рубки				зона гидроопор			
вид Б, нижний люк	147, 148	81	120	вид Г, задняя опора котла	270, 271	-45	-75

Таблица 3

Наибольшие напряжения при создании избыточного внешнего давления в цистерне, МПа

Зона	Точки	Δр, МПа	
		0,01	0,0125
переднее днище	5, 6	32	39
сечение I-I	010	52	52
заднее днище	198, 199', 199	-24	-28

Нагружение конструкции заправщика пу-

тем создания внешнего избыточного давления (разрежения) в котле 0,01 и 0,0125 МПа показали, что оболочка обладает достаточной устойчивостью. Величины напряжений не превышают приведенных в табл. 3. В остальных исследуемых точках и зонах величины напряжений ниже приведенных. При установке заполненного топливом полуприцепа на гидроопоры выявлено, что наиболее нагруженными элементами конструкции являлись сечение III'-III', зона установки гидроопор (вид Г) и зона соединения двух секций цистерны (вид Д), а величины напряжений соответственно приведены в табл. 4. В остальных исследуемых зонах величины напряжений не превышали -44 МПа.

Под воздействием кососимметричных нагрузок, создаваемых путем наезда автотопливозаправщика колесами тягача и полуприцепа на специально изготовленные препятствия высотой 250мм, в конструкции АТЗ возникали напряжения, величины которых представлены в табл. 5. В остальных сечениях и зонах величины напряжений ниже приведенных. Величины суммарных напряжений от совместного воздействия статических нагрузок для рабочего и испытательного режимов соответственно не превышали величин, сведенных в табл. 6. Величины главных и суммарных напряжений при статических нагружениях конструкции автотопливозаправщика приведены в табл. 7.

Таблица 4

Напряжения в цистерне при установке заполненного топливом АТЗ-40 на гидроопоры, МПа

Точки	Напряжения
75, 76	140
252, 253	-98
220, 221	-87

Таблица 5

Напряжения в АТЗ при создании кососимметричной нагрузки на полуприцеп, МПа

Зона	Точки	Напряжения
переднее днище	1, 2	34
сечение I-I	01	-76
сечение Г-Г'	41, 42	60
сечение III'-III'	038	37
вид В, нижний люк	147, 148	54
вид Д, зона сочленения	216, 217	31
	220, 221	47
вид Е, передняя опора	228, 229	-150
	242, 243	-140
вид Г, зона гидроопор	258, 259	-71
вид Г, задняя опора	278, 279	-33

Таблица 6

Суммарные напряжения от совместного воздействия статических нагрузок для рабочего и испытательного режимов, МПа

Зона	Точки	Рабочий режим	Испытательный режим
переднее днище	5, 6	-96	-170
сечение I-I	010	93	110
сечение Г-Г'	41, 42	90	-86
сечение Г-Г'	29, 30	-27	-45
сечение II-II	019	45	84
сечение III-III	029	39	53
сечение III'-III'	037	102	129
сечение IV-IV	050	-105	-167
сечение V-V	051	86	136
сечение VI-VI	167, 168	-32	-43
вид А, Ж, люк, патрубки	117, 118	-15	23
вид Б, нижний люк	147, 148	120	159
вид В, обечайка котла	173, 174	24	34
вид В, заднее днище	196, 197', 197	60	136
вид Д, зона сочленения	212, 213	73	88
вид Е, передняя опора	238, 239	-92	-100
вид Г, зона гидроопор	258, 259	102	143
вид Г, задняя опора	270, 271	-56	-86

Динамические испытания. Наибольшие величины динамических напряжений при исследовании вертикальной динамики топливозаправщика зафиксированы на котле у передней опоры, сечения I-I, II-II, в зоне сочленения (т.60, датчик Д). В остальных точках напряжения представлены в табл. 8. Для всех тензорезисторов, установленных для измерения динамических напряжений, величины напряжений представлены в табл. 9. При воздействии продольной динамической нагрузки наибольшие величины напряжений достигали величин, сведенных в табл. 10.

Таблица 7
Наибольшие величины главных и суммарных напряжений при статических нагрузках топливозаправщика

Исследуемая зона	Номер тензосенсора	Направление	Заполнение топливом, м³				Вес котла	Избыт.давление, МПа			Разрежение, -МПа		Опирание гидропоры	Косиниметрич.напряжение	Суммарные напряжения при режимах	
			Напряжения МПа					0,025	0,05	0,01	0,012 5	работаем Σ III 7,8,9			испытательном Σ III 7,8,10	
10	20	30	40	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
Длинные перепоны	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	3	x	-2	-2	-3	-4	0	-30	-55	10	14	-6	-10	34	-59	
	4	y	-2	-2	-4	-8	-1	-67	-125	25	29	-14	-15	-76	-134	
	5	x	-2	-2	-4	-10	-1	-72	-130	27	32	-15	-6	-83	-141	
	6	y	-2	-4	-5	-9	-1	-86	-160	32	39	-17	-7	-96	-170	
	7	x	-3	-3	-3	-5	-1	-32	-60	14	17	-6	-11	-38	-66	
Сечение I-I	8	y	-2	-2	-4	-6	-1	-58	-110	22	23	-12	-13	-65	-117	
	010		11	30	48	71	9	73	30	52	52	-17	56	93	110	
	27	x	-9	-20	-33	-39	-5	-41	-45	-5	-4	-5	-29	-85	-89	
	28	y	-4	-8	-13	-18	-2	-17	-19	-1	0	-1	-22	-37	-39	
Сечение I-II	41	x	-	-	-	-	-13	-2	-7	-8	11	14	2	60	-22	
	42	y	-4	-6	-7	-43	-5	-42	-40	11	33	0	50	-90	-88	
	44	y	2	3	5	7	1	31	46	-7	-8	11	10	39	54	
	49	x	-2	-2	-3	-4	0	6	13	-2	-2	0	-8	-4*	11	
Сечение II-II	50	y	-3	-	-2	0	0	-5	-13	5	5	0	-8	-5	-13	
	60	y	0	6	12	16	2	20	26	8	8	-2	10	38	44	
	015		1	2	5	10	1	-18	-43	15	17	3	5	11*	-32	
	019		1	1	2	4	0	41	80	-10	-12	17	17	43	84	
Сечение III-III	020		-1	-1	0	5	1	-40	-85	22	25	-13	-4	-34	-79	
	021		0	2	3	9	1	19	30	1	0	-9	1	29	40	
	022		-1	-3	-4	-4	0	-14	-25	7	8	25	-14	-18	-29	
	028		0	-3	-3	-3	0	-13	-25	5	6	20	-14	-16	-28	
Опора котла	029		2	3	5	12	1	26	40	0	-3	-11	11	39	53	
	271	x	-4	-5	-7	-10	-1	-45	-75	19	21	-22	-14	-56	-86	

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	16
Сечение III' - III'	031		6	10	15	25	3	44	50	4	2	15	35	72	88	88
	032		2	3	5	7	1	27	42	-5	-7	-33	-14	35	50	50
	033		2	3	4	8	1	14	44	-3	-5	-22	10	23	53	53
	034		2	2	4	8	1	30	60	-5	-8	-25	10	39	59	59
	035		2	2	5	5	1	32	48	-11	-14	-30	13	40	-56	-56
	036		6	10	15	24	3	43	60	0	-2	15	34	70	87	87
	037		8	14	22	35	4	63	90	3	0	-9	36	102	129	129
	038		8	14	22	33	4	60	87	3	0	-11	37	97	124	124
	039		2	6	9	17	2	36	55	2	0	-44	19	55	74	74
	040		2	6	9	16	2	34	57	0	4	-36	-34	52	75	75
	82	y	-7	-3	-11	-13	-2	-18	-30	-3	4	27	-16	-33	-45	-45
Сечение IV - IV	83	x	-11	-11	-29	-32	-4	-16	-22	-5	-5	34	-20	-52	-59	-59
	85	x	-8	-9	-9	-24	-30	-4	-22	-22	-6	-7	36	-21	-56	-56
	041		4	4	6	10	10	55	100	-9	-13	18	10	66	111	111
	045		-3	-5	-5	-5	-1	-30	-62	13	15	-5	-5	-36	-68	-68
	050		-9	-10	-14	-20	-3	-82	-144	22	28	-44	-17	-105	-167	-167
	104	y	-2	-2	-2	-2	0	12	24	-6	-7	5	-4	10	22	22
	105	x	-5	-6	-6	-8	-1	-7	-10	-5	-8	12	-13	-16	-19	-19
	114	y	-4	-5	-9	-9	-1	-14	-34	5	7	2	-9	-24	-44	-44
	116	y	-4	-6	-10	-11	-1	-30	-51	9	11	11	-12	-41	-67	-67
	118	y	-4	-7	-9	-9	-12	-1	18	36	-5	-11	-10	-13	-13*	23
	120	y	-3	-4	-6	-6	-8	-1	20	31	-7	-10	5	-7	11	-22
	124	y	1	1	1	2	0	8	20	2	4	16	10	10	22	22
Сечение V - V	051		6	7	8	16	2	68	118	-11	-15	19	14	86	136	136
	055		-5	-5	-5	-6	-1	-56	-104	18	21	-14	-8	-65	-111	-111
	059		5	6	8	20	3	66	104	-6	-8	19	19	-89	127	127
	258	y	7	12	15	24	3	75	116	-11	-16	44	28	102	143	143
Вид Г, зона уст. танков и опор	268	y	6	10	13	21	3	55	81	-6	-9	31	20	79	105	105

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вид В Нижний	147	x	11	13	21	35	4	81	120	-11	-23	40	54	120	159
	149	x	7	14	19	26	3	60	90	0	-3	9	28	89	119
	151	x	9	15	22	29	4	71	105	-4	-9	10	-29	104	138
	152	y	8	14	20	27	3	73	13	-8	-13	11	26	103	143
сечение VI-VI	153	x	0	18	24	32	4	79	116	-3	-7	6	33	113	152
	154	y	9	14	20	27	3	75	116	-7	-18	12	28	105	145
	156	y	-1	-1	-2	-3	0	-5	-7	-3	-3	-8	-6	-8	-10
	157	x	-1	0	0	4	0	13	21	-1	-2	-7	3	17	25
Обечайка Вид В	165	x	-1	-1	0	6	1	16	26	-2	-3	3	3	23	33
	166	y	-1	1	4	7	1	16	23	0	-2	3	2	24	31
	168	y	-4	-5	-6	-11	-1	-20	-31	8	10	-11	-11	-32	-43
	173	x	1	3	5	8	1	15	25	0	-1	4	7	24	34
Вид В заднее	174	y	1	0	0	-1	0	-9	-15	4	4	-1	-1	-10	-16
	175	x	1	1	-1	-2	0	-10	-16	4	5	-1	-2	-12	-20
	176	y	0	1	3	8	1	20	32	-2	-3	5	7	29	41
	187	x	1	2	3	5	1	19	35	-6	-7	3	4	25	41
Зона сочлене- ния 2-х секций Вид Д	189	x	-2	-7	-10	-16	-2	-35	-43	5	8	-12	-13	-53	-61
	192	y	0	2	3	9	1	47	84	6	8	11	10	57	94
	195	0	0	1	3	7	1	51	97	-15	-19	9	7	59	105
	196	x	1	2	4	7	1	52	128	6	7	10	11	60	135
Зона передней опоры, Вид Е	199	y	0	1	3	13	2	70	98	-11	-14	12	9	85	118
	205	x	3	6	9	13	2	16	17	3	2	-71	21	31	32
	209	x	5	10	16	22	3	33	41	4	3	-28	32	52	66
	212	y	5	10	17	24	3	40	54	1	-1	-19	31	67	81
Зона передней опоры, Вид Е	213	x	6	12	19	26	3	44	59	0	2	-19	28	73	88
	216	y	2	11	17	25	3	34	42	6	7	-24	31	62	70
	217	x	6	16	23	32	4	46	56	8	8	-28	40	82	92
	235	x	-2	-14	-27	-40	-5	-42	-43	-4	-3	-8	-73	-87	-88
Зона передней опоры, Вид Е	239	x	-9	-23	-36	-45	-6	-41	-49	-8	-7	-6	-100	-92	-100
	241	x	-6	-14	-22	-32	-4	-30	-32	-8	-7	-1	-39	-66	-68

Таблица 8
Напряжения при
вертикальной ди-
намике, МПа

Точки	Напря- жения
228	81
010	58
60	100
213	75

Результаты исследований продольной динамики конструкции заправщика указаны в табл. 11.

Максимальные амплитуды ускорений в вертикальной плоскости, обусловленные неровностью дороги, возникали при движении по асфальтному покрытию дороги (табл. 12) и при движении по грунтовой дороге (табл. 13). Продольные ускорения (замедления) при торможениях автотопливозаправщика составили: при асфальтном покрытии дороги при начальной скорости 35 км/час – $3,8...4,3 \text{ м/с}^2$, а при начальной скорости 50 км/час – $3,8...4,3 \text{ м/с}^2$; на грунтовой дороге при начальной скорости 20-25 км/час – $3,4...4,1 \text{ м/с}^2$.

Таблица 9

Наибольшие величины напряжений (МПа) при исследовании
вертикальной динамики конструкции топливозаправщика

Исследуемая зона: сечение, вид	Номер тензорезистора	Скорость движения, км/час									
		Q=40 т					Q=20+25 т				
		асфальт				грун- т	асфальт				грунт
		35	50+60	переезд кювета	пово- роты	20+25	3 0	5 0	переезд кювета	по- во- ро- ты	20+25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
перед- нее днище	5	3 6	18	14	9	14	5	1 1	5	11	5
	6	3 9	26	22	9	2	5	5	10	13	5
сечение I-I	27	2 3	23	41	27	20	1 1	2 1	47	26	42
	01	3 3	33	58	33	33	4 0	3 0	30	30	20
	010	5 0	42	58	42	33	3 2	4 6	55	55	18
сечение I'-I'	42	1 3	13	13	6	3	4	4	7	0	7
сечение II-II	59	1 0	20	15	15	10	5	5	10	5	5
	60	6 6	79	100	93	29	1 9	1 9	25	19	56
	019	2 0	15	15	10	5	0	6	11	6	8
сечение III-III	029	1 5	20	20	20	15	1 5	1 0	10	10	5
	037	2 7	27	27	23	23	1 4	6 9	14	6	6

	038	3 5	31	31	27	23	1 2	1 5	12	15	12
сечение IV-IV	041	3 3	25	29	25	21	8	8	8	12	8
	050	4 3	41	38	38	38	1 3	9	22	6	19
сечение V-V	051	3 8	38	38	34	28	-	-	-	-	-
	059	1 9	38	50	35	35	8	8	17	21	25
VI-VI	166	1 0	10	25	15	10	7	9	16	20	5
Вид В, заднее днище	192	0	0	10	5	0	0	0	7	7	0
	193	5	5	15	10	5	5	5	9	9	0
	196	5	5	10	5	10	2	4	6	6	0
	199	5	5	5	7	5	2	0	2	5	0
Вид А люк-лаз	117	7	16	8	8	4	3	2	4	4	4
	118	4	1	0	1	0	1	1	1	0	1

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вид Б, нижн. люк	147	22	24	24	28	12	17	17	17	22	6
	148	10	10	27	10	10	7	7	21	7	7
Вид Д, сеч-я VII-VII +X-X	212	23	18	18	14	6	5	14	23	5	18
	213	55	75	75	35	35	20	15	15	10	30
	216	15	19	8	8	8	8	8	8	8	8
	217	19	19	16	22	16	18	15	15	8	12
	221	15	15	15	15	10	10	20	15	5	10
Вид Е, передняя опора	228	69	65	81	27	50	36	50	45	59	23
	234	8	8	12	8	8	7	5	20	5	5
	233	39	36	50	28	11	12	40	44	32	50
	239	38	33	67	33	33	28	33	56	33	44
	242	44	50	78	39	44	25	35	50	30	30
Вид Г, гидроопоры	256	26	22	11	11	22	19	12	12	4	19
	268	14	14	9	9	14	10	10	5	5	16
Вид Г, задняя опора	270	5	5	16	15	10	4	6	13	13	6
	271	10	25	32	43	25	8	17	25	36	17
	276	5	5	10	5	5	2	4	7	7	4

Таблица 10

Напряжения при продольной динамической нагрузке, МПа

Зона	Точки	Напряжения	Зона	Точки	Напряжения
переднее днище	6	-58	сечение V -V	051	34
сечение I-I	27	-42	вид Е,	235	-56

сечение III' -III'	038	35	передняя опора		
сечение IV -IV	050	-47	вид Г, задняя опора	271	-56

Таблица 11

Наибольшие величины напряжений (МПа) при исследовании продольной динамики конструкции топливозаправщика

Исследуемая зона сечение, вид	Номер тензорезистора	Начальная скорость торможения, км/час					
		Q=40 т			Q=20+25 т		
		асфальт		грунт	асфальт		грунт
1	2	3	4	5	6	7	8
переднее днище	5	-23	-18	-23	-32	-38	-32
	6	-35	-26	-30	-47	-53	-58
сечение I-I	27	-18	-18	-20	-37	-42	-37
	01	-25	-25	-33	-40	-40	-20
	010	38	38	33	36	36	32
сечение Г-Г'	42	±13	±25	±9	±14	±11	±7

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8
сечение II-II	59	±10	±5	±5	±8	±8	±5
	60	±21	±7	±7	±19	±19	±19
	019	15	15	5	22	22	28
сечение III-III	029	15	20	15	20	10	10
	037	23	32	23	18	18	9
	038	19	35	19	15	19	12
сечение IV-IV	041	33	25	21	12	8	4
	050	-38	-47	-41	-16	-16	-22
сечение V-V	051	34	28	34	-	-	-
	059	23	19	31	12	12	25
сечение VI-VI	168	-25	-30	-30	-18	-20	-22
Вид В днище заднее	192	10	10	15	7	7	11
	193	3	3	3	2	2	2
	196	5	10	10	4	10	4
	199	7	7	5	5	7	0
Вид А люк – лаз	117	-17	-15	-4	-5	-4	-5
	118	-5	0	0	-2	-2	-1
Вид Б нижний люк	147	22	25	25	22	22	17
	148	30	30	20	21	14	14
Вид Д сеч. VII –VII, VIII –VIII, IX- IX, X-X	212	18	7	5	18	14	9
	213	30	10	5	25	15	25
	216	8	0	8	8	8	16
	217	9	6	9	18	15	12
	221	10	5	5	15	15	5
	228	-35	-23	-27	-45	-50	-27
Вид Е, передняя опора	234	4	8	15	9	9	9
	235	-32	-25	-21	-48	-56	-44

	239	-24	-24	-24	-39	-39	-33
	242	-17	-28	-17	-13	-20	-20
Вид Г, гид-роопоры	258	30	22	22	15	15	8
	268	18	14	14	5	10	10
Вид Г, зад-ная опора	270	-15	-15	-15	-11	-11	-13
	271	-25	-56	-25	-25	-42	-42
	276	10	10	10	6	6	6

Таблица 12

Амплитуды ускорений при движении по асфальтному покрытию дороги, м/с²

Режим движения со скоростью, км/час	Амплитуда ускорений, м/с ²
35	4,8...4,9
50-60	4,5...5,2

Таблица 13

Амплитуды ускорений при движении по грунтовой дороге, м/с²

Режим движения	Амплитуда ускорений, м/с ²
со скоростью 20-25 км/час	2,6
при переезде через кювет	5,1...5,4

Таблица 14

Результаты тормозных испытаний 2-х автотопливозаправщиков АТЗ-35(40) №1 и №2.

Испытания типа „0”

Номер торможения	Направление движения	Начальная скорость торможения, км/час	Номер ленты	Номер кривой	Усилие на органе управления, Р _{нелз} , кгс	Тормозной путь, м	Установившееся замедление мс ⁻²	
							полу-прицеп	тягач
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Норма	Прямо/обратно	40	-	-	не более 70	не более 18,4	не менее 5,5	
АТЗ-35(40) – №1 (заводской номер 0902001)								
1	→	34	1	1	70	11,0	6,2	6,4
2	←	37	1	1	"-	16,5	6,2	6,5
3	→	30	1	1	"-	12,1	5,7	5,8
4	←	42	1	1	"-	17,8	5,5	5,7
5	→	31	1	1	"-	11,2	6,0	6,1
6	←	31	1	1	"-	11,3	6,1	6,2
7	→	42	1	1	"-	18,4	5,6	5,7
8	←	30	1	1	"-	12,2	6,1	6,3
9	→	43	1	1	"-	19,8	5,5	5,7
среднее значение % отклон.		36			70	14,5	6,0	
		90			100	78	109	
АТЗ-35(40) – №2 (заводской номер 0902002)								
1	→	32	2	1	70	10,0	6,1	6,5
2	←	38	2	1	"-	17,4	6,2	6,5
3	→	31	2	1	"-	9,2	5,5	5,6
4	←	44	2	1	"-	18,0	5,5	5,5

5	→	32	2	1	”-	10,6	5,8	5,8
6	←	30	2	1	”-	12,0	5,2	5,6
7	→	44	2	1	”-	19,0	6,0	6,1
8	←	31	2	1	”-	13,5	5,0	5,2
9	→	45	2	1	”-	20,0	5,3	5,8
среднее значение		36			70	14,4	5,7	
% отклон.		90			100	78	103,5	

Тормозные испытания типа „0”. Результаты измерений при тормозных испытаниях двух автотопливозаправщиков №1 и №2 зав. № 0902001 и 0902002 приведены в табл. 14. При определении эффективности рабочей тормозной системы установлено: время с момента нажатия на педаль до начала торможения не превышало 0,35 с; время с момента нажатия на педаль тормоза до полной остановки автопоезда составило 2,0...3,5 с; средняя величина начальной скорости торможения – 36 км/час; среднее значение тормозного пути – 24,5 м; среднее установившееся замедление – 5,7...6,0 м/с²; температура тормозных колодок перед началом испытаний составляла 65°С.

Гидродинамические испытания. Результаты проведенных гидродинамических испытаний представлены в табл. 15-18, из которых выявлено следующее: рабочее давление, создаваемое насосом при различных скоростях вращения вала двигателя, достигало величины: при 1200 об/мин – 0,2±0,25 МПа; при 2400 об/мин – 0,35±0,4 МПа; при 2800 об/мин – 0,45±0,55 МПа.

За время закрытой заправки при выдаче топлива из цистерны через один и два рукава с наконечниками ТН-4 наибольшие гидродинамические давления были зафиксированы на наконечниках в момент закрытия задвижек стенда, оборотах двигателя 2800 об/мин, противодавлении 0,2 МПа и составили 0,84 МПа – для выдачи топлива через два рукава и 0,73 МПа – через один рукав. При увеличении сопротивления до 0,3...0,45 МПа величины гидроударов снижаются в 1,5 раза.

Таблица 15

Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны при закрытой заправке через один и два рукава с наконечниками ТН-4 во время закрытия задвижек стенда

Режимы работы			Гидродинамические давления, МПа									
Выдача топлива через:	N л/мин	Р _{фр.} , МПа	ДД №1		ДД №2		ДД №3		ДД №4		ДД №5	
			Р _{раб}	Р _{ул}	Р _{раб}	Р _{ул}	Р _{раб}	Р _{ул}	Р _{раб}	Р _{ул}	Р _{раб}	Р _{ул}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
два рукава	1800	0,2	0	0	0,2	0,23	0,21	0,23	0,17	0,3	0,18	0,3
”-	2400	0,2	0	0	0,41	0,55	0,44	0,62	0,21	0,59	0,22	0,6
”-	2800	0,2	0	0	0,53	0,8	0,56	0,82	0,23	0,83	0,25	0,84
правый рукав	1800	0,2	0	0	0,2	0,22	0,21	0,23	0	0	0,2	0,2
”-	2400	0,2	0	0	0,38	0,48	0,38	0,5	0	0	0,17	0,51
”-	2800	0,2	0	0	0,55	0,7	0,56	0,7	0	0	0,25	0,73

левый рукав	1800	0,2	0	0	0,2	0,22	0,21	0,23	0,14	0,27	0	0
"-	2400	0,2	0	0	0,35	0,43	0,38	0,44	0,16	0,48	0	0
"-	2800	0,2	0	0	0,55	0,7	0,58	0,73	0,25	0,73	0	0
два рукава	2400	0,3	0	0	0,38	0,5	0,41	0,53	0,27	0,54	0,29	0,57
"-	2800	0,3	0	0	0,53	0,78	0,56	0,79	0,27	0,79	0,29	0,79
правый рукав	2400	0,3	0	0	0,38	0,4	0,38	0,5	0	0	0,29	0,52
правый рукав	2800	0,3	0	0	0,53	0,68	0,54	0,7	0	0	0,29	0,54
левый рукав	2400	0,3	0	0	0,38	0,4	0,41	0,44	0,27	0,5	0	0
"-	2800	0,3	0	0	0,53	0,68	0,59	0,73	0,32	0,7	0	0
два рукава	2800	0,45	0	0	0,58	0,78	0,62	0,79	0,43	0,8	0,43	0,81
правый рукав	2800	0,45	0	0	0,5	0,55	0,56	0,59	0	0	0,42	0,69
левый рукав	2800	0,45	0	0	0,43	0,55	0,47	0,59	0,41	0,64	0	0

При срабатывании клапанов К1 и К2 в этом режиме испытаний наибольшие гидродинамические давления достигали величин 0,98 МПа. Во время открытой заправки при выдаче топлива через раздаточные пистолеты РП-401, давления на входе в раздаточный рукав 0,41÷0,45 МПа, гидродинамические давления достигали величин 1,17 МПа – на третьем положении рычагов 2-х раздаточных пистолетов. При выдаче топлива через один пистолет наибольшие величины гидродавлений составили -1,1 МПа.

Таблица 16

Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны при закрытой заправке через один и два рукава с наконечниками ТН-4 при срабатывании клапанов К1 и К2

Режимы работы			Гидродинамические давления, МПа									
Выдача топлива через:	Р _{пр} , МПа	N _{лв} , об/мин	ДД №1		ДД №2		ДД №3		ДД №4		ДД №5	
			Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}
два рукава	0,2	2400	0	0	0,35	0,6	0,38	0,53	0,2	0	0,2	0
	0,2	2800	0	0	0,5	0,93	0,53	0,98	0,1	0	0,2	0
правый рукав	0,2	2400	0	0	0,38	0,43	0,41	0,44	0	0	0,2	0
	0,2	2800	0	0	0,55	0,78	0,56	0,79	0	0	0,2	0
левый рукав	0,2	2400	0	0	0,38	0,4	0,41	0,44	0,27	0	0	0
	0,2	2800	0	0	0,55	0,68	0,59	0,73	0,32	0	0	0

Таблица 17

Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны при закрытой заправке через один и два раздаточные пистолеты РП-401, давления на входе в раздаточный рукав 0,4 МПа на 1...3 положениях рычага в момент прекращения заправки

Выдача топлива через:	Полож. рычага пистол.	Р _{расс} , МПа	Гидродинамические давления, МПа									
			ДД №1		ДД №2		ДД №3		ДД №4		ДД №5	
			Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}
через два пистолета	№1	0,46	0	0	0,33	0,4	0,38	0,47	0,3	0,93	0,32	0,67
	№2	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					3	4	3	4	3	9	3	8
					5	3	8	7	3	3	2	7
	№3	0,43	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
					4	5	4	6	2	2	2	1
через правый пистолет	№1	0,44	0	0	0,35	0,4	0,35	0,41	0	0	0,32	0,67
	№2	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					3	4	3	5			3	8
					8	5	8	1			2	1
	№3	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
					4	5	5	5			2	1
через левый пистолет	№1	0,44	0	0	0,35	0,4	0,38	0,44	0,23	0,64	0	0
	№2	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					3	4	3	4	3	8		
					5	8	8	4	4	4		
	№3	0,42	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
					4	5	5	6	2	0		

В режиме загрузки автотопливозаправщика сторонним насосом в момент срабатывания ограничителя налива величина гидродавлений достигала 1,95 МПа, а при загрузке АТЗ из заглубленного резервуара при производительности закачки топлива 1200 л/мин – 0,61 МПа.

Таблица 18

Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при загрузке АТЗ при срабатывании ограничителя налива

Загрузка АТЗ	Q, л/мин	Гидродинамические давления, МПа									
		ДД №1		ДД №2		ДД №3		ДД №4		ДД №5	
		Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}	Р _{раб}	Р _{уд}
сторонним	1500	0,23	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
насосом	3000	0,18	1,95	0	0	0	0	0	0	0	0

из заглубленного резервуара	1200	0,2	0,54	0,2	0,5	0,23	0,61	0	0	0	0
-----------------------------	------	-----	------	-----	-----	------	------	---	---	---	---

7. Оценка напряженно-деформированного состояния конструкции автоотопливозаправщика. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов, деталей и узлов цистерны-полуприцепа заправщика производилась сравнением наибольших суммарных напряжений, полученных при наиболее неблагоприятном сочетании одновременно действующих эксплуатационных нагрузок, с допускаемыми напряжениями [6].

При установившемся движении автоотопливозаправщика должно выполняться следующее соотношение:

$$\sigma_S^1 = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_3 \leq [\sigma]_p = 160 \text{ МПа}, \quad (1)$$

Таблица 19

Суммарные напряжения при установившемся движении автоотопливозаправщика, МПа

Зона	Точки	Напряжения
переднее днище	6	135
сечение I-I	010	151
вид Е, передняя опора	239	-159
вид Г, задняя опора	271	-56
сечение II-II	60	138
сечение III'-III'	038	132
сечение IV -IV	050	-148
сечение V -V	059	139
вид Б, нижний люк	147	140
вид Д, зона сочленения	213	148
вид Г, зона гидроопор	258	128
вид Г, задняя опора	271	-99

где σ_1 – статическое напряжение от воздействия 40 м³ продукта, заполненного в цистерну; $\sigma_{св}$ – напряжения от собственного веса котла; σ_2 – напряжения, полученные от воздействия внутреннего избыточного рабочего давления 0,025 МПа; σ_3 – динамические напряжения, полученные при исследовании вертикальной динамики.

Наибольшие суммарные напряжения были получены в следующих зонах конструкции и представлены в табл. 19.

Оценка прочности конструкции с учетом продольных динамических нагрузок, возникающих

при торможениях автопоезда, осуществлялась по выражению

$$\sigma_S^2 = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_4 \leq [\sigma]^1 - 160$$

МПа, (2)

где σ_4 – динамические напряжения, измеренные при исследовании продольной динамики.

Наибольшие суммарные напряжения σ_S^2 составили величины, сведенные в табл. 20.

При установке полупри-

Таблица 20

Суммарные напряжения в цистерне с учетом продольных динамических нагрузок, МПа

Зона	Точки	Напряжения
переднее днище	6	-154
сечение I-I	010	131
вид Е, передняя опора	235	-143
сечение III' -III'	037	134
сечение IV -IV	050	-152
сечение V -V	059	120
вид Б, нижний люк	147	145
вид Д, зона сочленения	213	103
вид Г, зона гидроопор	258	132
вид Г, задняя опора	271	112

цепа на гидроопорные устройства оценка выполнялась по соотношению:

$$\sigma_S^3 = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_5 \leq [\sigma]_p, (3)$$

где σ_5 – напряжения, полученные при установке груженого полуприцепа на опорные устройства, а наибольшие суммарные напряжения получены в следующих зонах конструкции (табл. 21). Наибольшие величины главных суммарных напряжений для всех исследуемых в динамике точек и видов нагружений представлены в табл. 22, где величины суммарных напряжений не превышают допускаемых, равных 160 МПа.

Таблица 21

Суммарные напряжения в цистерне при установке полуприцепа на гидроопоры, МПа

Зона	Точки	Напряжения	Зона	Точки	Напряжения
вид Г, зона гидроопор	258	146	сечение V-V	059	102
вид Б, нижний люк	147	160	переднее днище	6	-113
сечение IV -IV	050	-149			

Величины главных суммарных напряжений для испытательного режима (напряжения от массы продукта, собственного веса котла и испытательного давления 0,05 МПа) не превышали 170 МПа (т. 6) при допускаемом $[\sigma]_{исп} = 216$ МПа.

8. Погрешность измерений. Погрешность измерения прочностных параметров конструкции обусловлена следующими составляющими:

- δ_1 – погрешностью тензометрического метода измерения деформации;
- δ_2 – погрешностью измерительного тракта цифрового тензометрического моста;
- δ_3 – нелинейностью амплитудно-частотной характеристики измерительного тракта тензометрического усилителя ТУП-12;
- δ_4 – погрешностью регистрации на осциллографе;
- δ_5 – погрешностью обработки осциллограмм.

Таблица 22

Наибольшие величины главных суммарных напряжений с учетом всех видов нагружений

Исследуемая зона, сечение вид	Номер тензорезистора	Статические напряжения от вертикальной нагрузки и рабочего давления	Статические напряжения при опирании на опоры	Динамические напряжения от вертикальных нагрузок	Динамические напряжения при торможении	Суммарные напряжения, МПа		
						Опирание на гидроопоры Σ п.п. 3,4	От продольных нагрузок Σ п.п. 3,6	От вертикальных нагрузок Σ п.п. 3,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переднее	5	-83	-15	±36	-38	-98	-121	-119

днище	6	-96	-17	±39	-58	-113	-154	-135
сечение I-I	27	-85	-5	±47	-42	-90	-127	-132
	01	-77	21	±58	-40	-56	-117	-135
	010	93	-17	±58	38	76	131	151
сеч. Г-Г'	42	-90	0	±13	±25	-90	-115	-103
сечение II-II	59	24	-13	±20	±10	11	30	44
	60	38	-2	±100	±21	36	59	138
	019	45	17	±20	28	62	73	65
сеч. III-III	029	39	-11	±20	20	28	59	59
сечение III'-III'	037	102	-9	±27	32	93	134	129
	038	97	-11	±35	35	86	132	132
сечение IV-IV	041	66	18	±33	33	84	99	99
	050	-105	-44	±43	-47	-149	-152	-146
сеч. V-V	051	86	19	±38	34	105	120	124
	059	89	19	±50	31	108	120	139
сеч. VI-VI	168	-32	-11	±25	-30	-43	-62	-57
Вид В, днище заднее	192	57	11	±10	15	66	72	67
	193	4	1	±15	3	5	7	19
	196	60	10	±10	10	70	70	70
	199	85	12	±7	7	97	92	92
Вид А, люк – лаз	117	-15	14	±16	-17	-1	-32	-31
	118	-13	10	±4	-5	-3	-18	-17
Вид Б, нижний люк	147	120	40	±28	25	160	145	148
	148	98	27	±27	30	125	128	125
Вид Д, сечения VII-VII ÷ X-X	212	67	-19	±23	18	48	85	90
	213	73	-19	±75	30	54	103	148
	216	62	-24	±19	16	38	78	81
	217	82	-28	±22	18	54	100	104
	221	68	-87	±25	15	-19	83	93
Вид Е, передняя опора	228	-38	22	±81	-50	-16	-88	-119
	234	-48	-1	±20	-15	-49	-63	-68
	235	-87	-8	±56	-56	-95	-143	-143
	239	-92	-6	±67	-39	-98	-131	-159
	242	-34	23	±78	-28	-11	-62	-112
Вид Г, гидроопоры	255	102	44	±26	30	146	132	128
	268	79	31	±15	18	110	97	94
Вид Г, задняя опора	270	-23	-8	±16	-15	-31	-38	-39
	271	-56	-22	±43	-56	-78	-112	-99
	276	36	8	±10	10	44	46	46

Погрешности, свойственные тензометрическому методу измерений, обусловлены:

- неидентичностью проволочных решеток тензорезисторов;
- качеством наклейки;
- неполной компенсацией влияния температуры.

Указанная погрешность согласно [7] не может превышать величины $\delta_1 = \pm 2,5\%$. Основная погрешность измерительного тракта цифрового тензометрического моста составляет $\delta_2 = \pm 2\%$ [8]. Погрешность, обусловленная нелинейностью амплитудно-частотной характеристики тензометрического усилителя ТУП-12, не превышает $\delta_3 = \pm 3\%$ [9]. Суммарная погрешность ре-

гистрации динамических процессов магнитоэлектрическим осциллографом может достигать $\pm 4\%$ [10]. Погрешность обработки осциллограмм не превышает $\pm 5\%$.

Среднеквадратическая погрешность при исследовании прочностных параметров составляет:

- для статических измерений $\delta_{ст} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 3,2\%$;
- для динамических измерений – $\delta_{дин} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} = 7,5\%$.

Измерения ускорений, возникающих в процессе торможения топливозаправщика, выполнялись с суммарной погрешностью не более 12%. Погрешность измерения гидродинамических давлений в коммуникациях заправки не превышала $\pm 8\%$. Абсолютная погрешность регистрации температуры составляла $\pm 1,8^\circ\text{C}$.

Заключение. На основании экспериментальных данных для всех видов проведенных измерений и анализа результатов испытаний автотопливаправщика АТЗ-35(40) установлено следующее.

1. Цистерна автотопливаправщика обладает достаточной прочностью и устойчивостью при воздействии эксплуатационных и испытательных нагрузок. Величины напряжений при наиболее неблагоприятном сочетании одновременно действующих нагрузок не превышали допускаемых.

2. Эффективность рабочей тормозной системы автотопливаправщика при холодных тормозных механизмах удовлетворительная [4].

3. Наибольшие величины гидродинамических давлений в трубопроводах автотопливаправщика в режимах заправки и выдачи топлива не превышали 1,95 МПа.

4. Автотопливаправщик АТЗ-35(40) удовлетворяет требованиям 9010.00.000. ТУ.

Полученные результаты являются основой для создания гибридной расчетно-экспериментальной модели для оценки несущей способности, обеспечения прочности и снижения массы наиболее нагруженных и ответственных элементов автотопливаправщиков.

Список литературы: 1. *Общий подход к обоснованию параметров проектируемых машин на основе гибридных расчетно-экспериментальных моделей* / А.Д. Чепурной, Г.П. Глинин, А.В. Литвиненко [и др.] // *Механіка та машинобудування*. – Харків: НТУ „ХПГ”, 2009. – № 1. – С. 85-96. 2. 9010.00.000. ТУ Автотопливаправщик АТЗ-35(40)-6443. 3. *ГОСТ 15.001-76*. Разработка и постановка продукции на производство. 4. *ОСТ 37.001.065-75*. Тормозные свойства автомобильного подвижного состава. Методы испытаний по определению эффективности тормозных систем. 5. Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 6. *Электрические измерения неэлектрических величин* / А. М. Туричин, П.В. Новицкий, Е. С. Левшина [и др.]. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с. 7. *Беляев Н. М.* Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с. 8. *Техописание* и инструкция по эксплуатации системы измерительной тензометрической СИИТ-3. 9. *Техописание* и инструкция по эксплуатации на усилитель тензометрический ТУП-12. 10. *Техописание* и инструкция по эксплуатации на осциллограф магнитоэлектрический К-20-22.

Поступила в редколлегию 10.08.2009